

ECAC news

The European Civil Aviation Conference Magazine

CEAC infos

Le magazine de la Conférence européenne de l'Aviation civile



ECAC AND THE ENVIRONMENT
LA CEAC ET L'ENVIRONNEMENT

NUMBER 48 — WINTER 2012/2013

NUMÉRO 48 — HIVER 2012/2013



COOL CONTRAILS TRAINÉES RAFFRAÎCHISSANTES

PROFESSOR DR ULRICH SCHUMANN

DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (DLR), INSTITUTE OF ATMOSPHERIC PHYSICS, OBERPFAFFENHOFEN
AGENCE AÉROSPATIALE ALLEMANDE (DLR), INSTITUT DE PHYSIQUE ATMOSPHÉRIQUE, OBERPFAFFENHOFEN

Contrails are cirrus clouds which warm or cool the Earth depending on flight route and weather. Hence, the climate impact of aviation can be minimised by avoiding warming contrails and allowing for cooling contrails by proper weather dependent route selection. This article summarises recent research results on this topic.



Les « contrails », ou traînées de condensation, sont des cirrus qui réchauffent ou refroidissent la Terre selon la trajectoire de vol des aéronefs et les conditions météorologiques. L'impact climatique de l'aviation pourrait ainsi être atténué en évitant les traînées à effet réchauffant, au profit de celles à effet refroidissant, par une sélection appropriée des itinéraires en fonction de la météo. Cet article dresse le bilan des récentes recherches dans ce domaine.

Contrails form if the air is cool enough, cooler than the Schmidt-Appleman threshold temperature, now known for many decades. For aircraft burning kerosene, this threshold temperature ranges typically from -35°C to -55°C depending on altitude and ambient humidity. When the atmosphere is cooler than this threshold, the water vapour emitted by aircraft engines condenses on emitted soot and on other particles and forms a cloud of many small liquid droplets. Because of low ambient temperature, the liquid droplets soon freeze to ice particles. When the ambient air is dry, the contrail ice particles sublime and the contrail soon disappears. However, when the air is humid, with humidity above ice saturation, the ice particles grow by deposition of water vapour from the ambient air, and the contrail persists, possibly for hours.

Long-lived contrails at clear skies have been identified by their linear shape, both by ground observers and automatically in satellite data. However, often many contrails form, which overlap with other contrails and with natural cirrus clouds, and change their shape with time. Hence, contrails become indistinguishable from natural cirrus clouds after some time. In addition, aviation may cause cloud changes also by other effects (e.g., aerodynamically by local pressure reduction above the wings) and contrails also form inside other cirrus clouds where they may be invisible. Hence, so far, the total amount of contrails was unknown.

Les contrails se forment lorsque l'air est suffisamment froid, plus froid que le seuil de température Schmidt-Appleman, connu depuis maintenant de nombreuses décennies. Pour les aéronefs brûlant du kérosène, ce seuil se situe généralement entre -35°C et -55°C , selon l'altitude et l'humidité ambiante. Lorsque l'atmosphère est plus froide que ce seuil, la vapeur d'eau émise par les moteurs se condense sur la suie émise et les autres particules, formant un nuage de minuscules gouttelettes. Sous l'effet de la faible température ambiante, les gouttelettes se transforment rapidement en cristaux de glace. Lorsque l'air ambiant est sec, ces cristaux sont rapidement sublimés et la traînée se dissipe rapidement. À l'inverse, en présence d'un taux d'humidité de l'air supérieur à celui de la saturation de la glace, les cristaux s'expansent par dépôt de la vapeur d'eau de l'air ambiant, et la traînée peut persister pendant plusieurs heures.

Les contrails persistantes dans le ciel clair se distinguent par leur forme linéaire ; elles sont visibles à l'œil nu au sol et automatiquement enregistrées dans les données satellitaires. Cependant, bien souvent, plusieurs types de contrails se forment, se confondent avec d'autres traînées et les cirrus naturels, et changent d'aspect avec le temps. Les contrails deviennent ainsi indifférenciables des cirrus naturels au bout de quelque temps. De plus, l'aviation peut générer d'autres formes de nuage en exerçant divers effets (par exemple, aérodynamiquement par la dépression locale sur l'extrados des ailes) et les contrails peuvent aussi se former à l'intérieur d'autres cirrus naturels et devenir invisibles. Par conséquent, jusqu'à présent, le volume total de contrails est inconnu.

Récemment, les scientifiques du DLR ont pu déduire la couverture de cirrus induite par l'aviation en corrélant les observations du satellite Météosat avec les données de trafic

Recently, DLR scientists derived the cover by aviation-induced cirrus clouds from Meteosat satellite observations using traffic data provided by EUROCONTROL. Air traffic over the North Atlantic follows a systematic time pattern. Every morning hundreds of airliners cruise from North America to Europe and return to North America in the early afternoon. The same pattern has been detected in the diurnal cycle of cirrus cover. This pattern was used to quantify the amount of aviation-induced cirrus cover and its dynamical timescales for the first time.

fournies par EUROCONTROL. Le trafic aérien au-dessus de l'Atlantique Nord suit un schéma horaire systématique. Chaque matin, des centaines d'avions de ligne desservent l'Europe au départ de l'Amérique du Nord et y reviennent en début d'après-midi. Le même schéma a été détecté dans le cycle diurne de la couverture de cirrus. Ce schéma a donc permis, pour la première fois, de quantifier le volume de cirrus généré par l'aviation et son évolution dynamique dans le temps.

Les satellites géostationnaires Météosat Seconde Génération (MSG), dont le programme est le fruit d'une coopération entre EUMETSAT et l'Agence spatiale européenne (ESA),

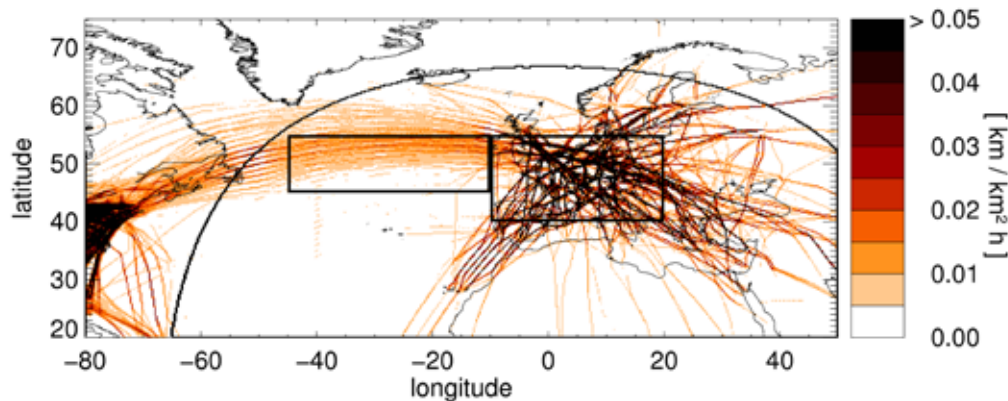


FIGURE 1 : AIR TRAFFIC DISTRIBUTION IN THE NORTH ATLANTIC (COLORED). THE BOX OVER THE NORTH ATLANTIC IDENTIFIES THE REGION INVESTIGATED. IT LIES WITHIN THE CIRCLE OF METEOSAT VISIBILITY (FIGURE BY DLR).

FIGURE 1 : RÉPARTITION DU TRAFIC AÉRIEN AU-DESSUS DE L'ATLANTIQUE NORD (EN COULEUR). LE CADRE SITUÉ AU MILIEU DE L'Océan CORRESPOND À LA RÉGION ÉTUDIÉE, À L'INTÉRIEUR DE LA ZONE DE COUVERTURE DE MÉTÉOSAT (FIGURE FOURNIE PAR LA DLR).

The geostationary Meteosat Second Generation (MSG) satellites, established under cooperation between EUMETSAT and the European Space Agency (ESA), carries the Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager (SEVIRI), which has the capacity to observe the Earth in 12 spectral channels. Cirrus cover was derived from infrared data of the SEVIRI instrument every 15 minutes with about 5 km horizontal resolution for eight years of observations. For this purpose a new Meteosat Cirrus Detection Algorithm MeCiDA2 was developed. Air traffic density data were provided by the European air traffic control centre EUROCONTROL with high spatial and temporal resolution for several weeks in 2004.

The satellite measurements and traffic data were used to derive the mean diurnal cycles of cirrus cover and air traffic density. Both show a double wave in time with maxima at early morning and early afternoon. The double wave for cirrus follows the double wave for

emporte le radiomètre imageur SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager*), capable d'observer la Terre

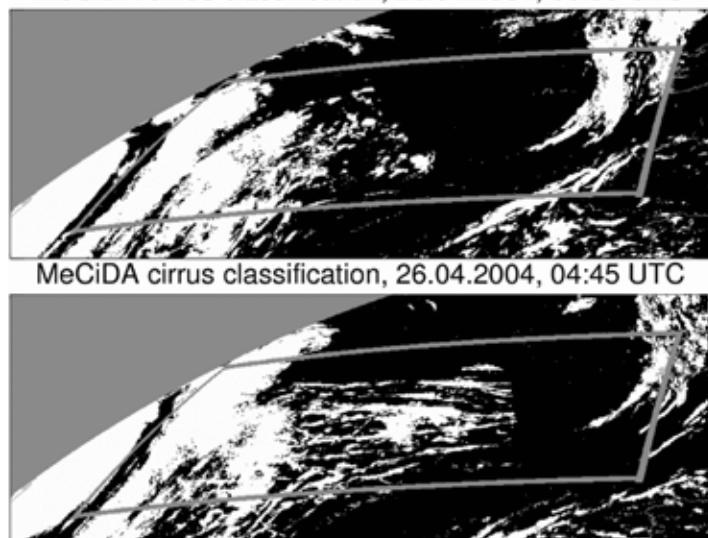


FIGURE 2: CIRRUS COVER (WHITE) OVER THE NORTH ATLANTIC AS DERIVED WITH THE MeCiDA METHOD FROM METEOSAT DATA. THE SCENES SHOW AN EXAMPLE WITH OBSERVED CIRRUS COVER BEFORE AND AFTER PASSAGE OF THE EASTBOUND TRAFFIC ON A SPECIFIC DAY. THE NOON SCENE SHOWS ADDITIONAL CIRRUS COVER, OBVIOUSLY CAUSED BY AVIATION. THE GREY POLYGON INCLUDES THE NORTH ATLANTIC FLIGHT CORRIDOR CONSIDERED (FIGURE BY DLR).

FIGURE 2 : LA COUVERTURE DE CIRRUS (EN BLANC) AU-DESSUS DE L'ATLANTIQUE NORD, TELLE QUE DÉRIVÉE DES DONNÉES DE MÉTÉOSAT GRÂCE À LA MÉTHODE MeCiDA. CES SCÈNES ILLUSTRONT UN EXEMPLE DE LA COUVERTURE DE CIRRUS OBSERVÉE AVANT ET APRÈS LE PASSAGE DU TRAFIC ÉVOLUANT VERS L'EST AU COURS D'UNE MÊME JOURNÉE. LA SCÈNE DE MIDI MONTRÉ CLAIREMENT LA COUVERTURE DE CIRRUS SUPPLÉMENTAIRE QUE GÉNÈRE L'AVIATION. LE CADRE GRIS DÉLIMITE LE CORRIDOR DES VOLS ÉTUDIÉS AU-DESSUS DE L'ATLANTIQUE NORD (FIGURE FOURNIE PAR LA DLR).

air traffic with a delay of a few hours. Such a delay time is to be expected and corresponds to the time during which contrails spread to maximum width and thickness. Because of different flight directions, the maxima are closer together in the east part of the North Atlantic than in the west part. This east-west double wave pattern is unique for aviation and therefore serves as a fingerprint to identify aviation contributions to cirrus. Cover and air traffic can be related by a linear response model. From the data and the model a mean aviation-induced cirrus cover of 1-2 % is derived with typical delay times of 2-4 h. The derived cover is larger than estimated so far with models. These results are published in *Geophysical Research Letters* (doi:10.1029/2012GL052590, http://www.dlr.de/pa/en/desktopdefault.aspx/tabid-2342/6725_read-35237/).

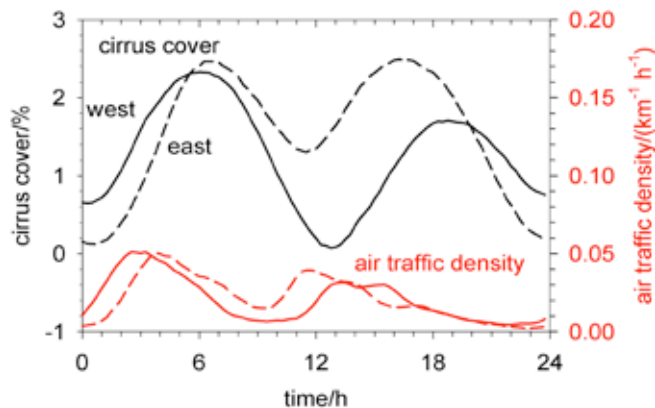


FIGURE 3: DIURNAL CYCLES OF AIR TRAFFIC DENSITY (RED, RIGHT AXIS) AND CIRRUS COVER (BLACK, LEFT AXIS) IN WESTERN AND EASTERN PARTS OF THE NORTH ATLANTIC TRAFFIC CORRIDOR (FIGURE BY DLR).

FIGURE 3 : CYCLES DIURNES DE LA DENSITÉ DE TRAFIC AÉRIEN (AXE ROUGE DE DROITE) ET COUVERTURE DE CIRRUS (AXE NOIR DE GAUCHE) DANS LES PARTIES OUEST ET EST DU CORRIDOR DES VOLS ÉTUDIÉS AU-DESSUS DE L'ATLANTIQUE NORD (FIGURE FOURNIE PAR LA DLR).

Contrails enhance the greenhouse effect of the Earth's atmosphere and heat the Earth surface by reducing infrared radiation from Earth to space. On the other hand, contrails also enhance the planetary albedo of the Earth and cool the Earth surface because of solar radiation scattered back to space by ice particles. Which of the two effects dominates depends on time, location and weather. Recent research shows that the greenhouse and albedo effects of contrails are larger than estimated before. The sum of both is larger than the greenhouse effect from the carbon dioxide emitted by aviation over the last 50 years.

During the night, contrails always warm the atmosphere. Locally, above a dark surface and for certain weather conditions during

dans douze bandes spectrales. La couverture de cirrus a été modélisée à partir des données infrarouges recueillies par cet instrument toutes les 15 minutes pendant huit ans, à raison d'une résolution horizontale d'environ 5 km. C'est dans cette optique que l'algorithme *McCiDA2* (*Meteosat Cirrus Detection Algorithm*) a été développé. Les données de densité du trafic aérien, à haute résolution spatio-temporelle, ont quant à elles été fournies pendant plusieurs semaines en 2004 par EUROCONTROL.

Les mesures du satellite et les données de trafic ont permis de modéliser les cycles diurnes moyens de la couverture de cirrus et la densité du trafic aérien. Ces deux paramètres révèlent une double vague dans le temps, dont les pics interviennent au petit matin et en début d'après-midi. Chacun des deux pics de cirrus suit un pic de trafic aérien avec un décalage de quelques heures. Ce délai s'explique aisément par le temps nécessaire aux contrails pour atteindre leur expansion maximale en termes de surface et d'épaisseur. En raison des différentes trajectoires de vol, les deux pics sont plus proches l'un de l'autre dans la partie orientale de l'Atlantique Nord que dans la partie occidentale. Ce schéma de double vague est-ouest est unique pour l'aviation et sert donc de référence pour déterminer les contributions de l'aviation aux cirrus. La couverture et le trafic aérien peuvent être corrélés par un modèle de réponse linéaire. À partir de ces données et du modèle évoqué, il a été calculé qu'une couverture moyenne de cirrus générée par l'aviation de 1 à 2 % se forme 2 à 4 h après un pic de trafic aérien. La couverture ainsi déduite est plus importante que celle estimée jusqu'à présent à l'aide d'autres modèles. Ces résultats sont publiés dans les *Geophysical Research Letters* (doi:10.1029/2012GL052525, http://www.dlr.de/pa/en/desktopdefault.aspx/tabid-2342/6725_read-35237/).

Les contrails accentuent l'effet de serre de l'atmosphère et réchauffent la surface du globe en réduisant le rayonnement infrarouge de la Terre vers l'espace. Ces traînées accentuent également l'albédo planétaire de la Terre et refroidissent sa surface, en raison de la dispersion du réfléchissement solaire vers l'espace par les particules de glace. La prédominance d'un de ces deux effets dépend du temps, du lieu et de la météo. Une récente étude montre que les effets de serre et de l'albédo induits par les contrails sont plus importants que ceux précédemment estimés. La somme des deux excède l'effet de serre induit par le dioxyde de carbone émis par l'aviation au cours des cinquante dernières années.

La nuit, les contrails réchauffent toujours l'atmosphère. Localement et pendant la journée, au-dessus d'une surface sombre et par certaines conditions météorologiques, les contrails ont plutôt un effet rafraîchissant. De même, les conditions de formation des contrails varient fortement dans l'atmosphère. Les couches d'air humide où se forment les contrails persistantes sont plutôt fines, généralement inférieures à 600m. De ce fait, la formation des contrails

day, contrails cool. Also the conditions for contrail formation vary strongly within the atmosphere. Humid air layers in which persistent contrails form, are rather thin, often less than 600m. Hence, contrail formation can be avoided by flying one flight level higher or lower than planned. The climate impact of contrails also depends strongly on the background. Contrails warm and cool more strongly for clear skies than for overcast conditions. Hence also small lateral route changes may strongly reduce the climate impact of aviation. Contrail cooling effects are strongest in early morning and late afternoon hours. However, contrails forming before sunset may persist into night where they warm, whereas contrails forming before sunrise may cool during early morning. Hence, climate optimised routing depends also on daytime.

As a further step forward to mitigation, DLR developed a contrail cirrus prediction tool (see doi:10.5194/gmd-5-543-2012). This software uses weather forecast data to predict contrail cover and their climate impact for given individual aircraft flight routes. The tool might be combined with traditional wind and temperature-dependent route optimisation to find routes that are close to cost and fuel optimal and minimise the climate impact of aviation. A future air traffic management system may allow for free flights or more flexible routing. Such a future system may be used to both reduce flight costs and fuel consumption compared to present state and, at the same time, considerably reduce the climate impact of aviation. ●●●

pourrait être évitée en faisant évoluer les aéronefs à un niveau de vol supérieur ou inférieur à celui planifié. L'impact climatique des contrails dépend également fortement de l'environnement lumineux. L'effet réchauffant ou refroidissant des contrails est plus accentué par ciel clair que par temps couvert. Par conséquent, d'infimes changements de trajectoire latérale pourraient sensiblement atténuer l'impact de l'aviation sur le climat. De même, l'effet refroidissant des contrails est plus marqué à l'aube et en fin d'après-midi. En revanche, les contrails se formant avant le crépuscule peuvent persister la nuit et réchauffer alors l'atmosphère, tandis que les contrails se formant immédiatement avant le lever du soleil la refroidissent au petit matin. En conclusion, l'optimisation du mode de cheminement des aéronefs au profit du climat dépend également de l'heure de la journée.

Pour tenter d'aller plus loin dans notre effort de lutte contre le changement climatique, nous avons mis au point un outil de prévision des cirrus induits par les contrails (voir doi:10.5194/gmd-5-543-2012). Ce logiciel utilise les données de prévision météorologiques pour calculer la couverture de contrails et son incidence climatique en fonction de chaque trajectoire de vol. Cet outil peut être combiné aux moyens classiques d'optimisation des routes selon le vent et la température, afin de tracer les itinéraires offrant le rapport optimum entre le coût d'exploitation, la consommation carburant et l'empreinte environnementale des aéronefs. Un futur système de gestion du trafic aérien pourrait offrir un plus grand libre-choix de vol ou des cheminements plus flexibles. Un tel système pourrait, à terme, permettre de réduire à la fois les coûts d'exploitation et la consommation carburant par rapport aux niveaux actuels et, dans le même temps, atténuer considérablement l'impact de l'aviation sur le climat. ●●●

Prof. Dr Ulrich Schumann is a scientist at DLR. He was the Director of the DLR-Institute of Atmospheric Physics in Oberpfaffenhofen, near Munich, Germany from 1982 until June 2012. Before, he was a scientist at the Research Center Karlsruhe from 1969-1982. In 1974/75 he worked as an Advanced Study Fellow at the National Center for Atmospheric Research in Boulder, Colorado, USA. He has performed atmospheric research in several fields of atmospheric physics, with more than 150 reviewed publications, and several book contributions. He was Chapter Lead Author of the IPCC report on Aviation and the Global Atmosphere in 1998, and has co-ordinated many national and European research projects on aviation, aircraft emissions, cirrus, lightning, climate, and environment: AERONOX, POLINAT I and II, EULINOX, INCA, TROCCINOX, ECATS, since 1992.

Le Professeur Dr Ulrich Schumann est scientifique à l'Agence aérospatiale allemande (DLR). De 1982 à juin 2012, il a dirigé l'Institut de Physique atmosphérique de la DLR à Oberpfaffenhofen, près de Munich. Auparavant, il était scientifique au Centre de Recherche de Karlsruhe de 1969 à 1982. En 1974/75, il a été Advanced Study Fellow au National Center for Atmospheric Research (NCAR) de Boulder, Colorado, USA. Il a effectué de nombreux travaux de recherche dans plusieurs disciplines de la physique atmosphérique. Il est l'auteur de plus de 150 publications scientifiques et a contribué à plusieurs ouvrages. Il a notamment préfacé le rapport du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) sur l'Aviation et l'Atmosphère globale en 1998, et coordonné de nombreux projets de recherche nationaux et européens sur l'aviation, les émissions des aéronefs, les cirrus, la foudre, le climat et l'environnement (tels que AERONOX, POLINAT I et II, EULINOX, INCA, TROCCINOX, ECATS) depuis 1992.